菇類栽培後資源物作為生質燃料之潛力評估

農試所植病組 黃椉揚 呂昀陞

一、前言

為解決因溫室氣體導致全球性極端氣候異常之問題，永續發展與淨零碳排議題為跨越國家或經濟體的共識。在2023年落幕之第二十八屆聯合國氣候大會(Conference Of the Parties, COP)中，與會之兩百個國家共同作出“能源系統轉型，減少化石燃料使用”的決議(Transitioning away from fossil fuels in energy systems)，以減少溫室氣體對環境之影響。我國係出口導向型之國家，而國內重要業者，如台積電、鴻海等企業已選擇加入RE100等國際協議，並公開宣布將於2040年前達成以100%再生能源進行產品生產的時間表。針對國內產業不斷增加之再生能源需求，我國政府亦隨之調整政策，修正過往倚賴煤炭與天然氣等化石能源發電為主之能源占比，並期盼於2025年度達成全國綠能發電，能占總電能之20%。在眾多再生能源之選項中，生質能由於具備可穩定供能，且不受季節與氣候等因素降低發電效率之特點，因而在全球範圍被廣泛使用，同時還可以有效去化農業資源物，對於產業永續發展與淨零碳排同時貢獻心力。本文將以運用菇類栽培後資源物作為生質燃料為例，說明生質能源在產業應用前景。

二、國際碳關稅與我國綠能規劃

我國產業發展與全球市場息息相關，據臺灣碳權交易研究所資料顯示，我國出口產值佔全國國內生產毛額(Gross Domestic Product,GDP)之比重已經超過6成，其中我國產品兩大主要出口市場，歐盟與美國已分別宣告將於2026與2024年依據”碳邊境調整機制”(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)與”清潔競爭法案”(Clean Competition Act, CCA)，針對進口產品於生產過程所使用之能源課徵相關碳稅，例如歐盟就明訂，針對非歐盟生產商之產品，其碳定價(包含碳稅、碳費或其他被認可之碳交易制度碳價)若低於歐盟碳排放交

作　　者：黃椉揚助理研究員
連絡電話：04-23317527

易系統(European Union Emission Trading Scheme)訂定之碳價，需額外購買相對應之CBAM憑證，才可進入歐盟關稅區進行交易。此類非關稅貿易障礙行為，雖然與傳統國際貿易間之關稅障礙或產業政策補貼有所不同，但仍會直接提高我國產品在國外市場的售價，降低消費者購買意願，也會間接墊高生產成本，使業者在製造過程時必須採用比起非火力發電更高昂之再生能源。根據臺灣電力公司資料，我國火力發電成本自2024年五月底為止為3.02元/度，再生能源中只有水力發電之成本之2.28元/度，低於此標準，其餘風力發電3.54元/度、太陽光電4.08元/度、地熱5.31元/度，皆高於火力發電之成本。因此針對我國再生能源轉型之缺口，經濟部已分別針對展綠、增氣、減煤與非核等四個面向訂定推動方針，增氣與減煤為希望降低火力發電之碳排放量，而展綠則係藉由政策補助之模式，提升我國再生能源發電產能之佔比，預計在2025年達成再生能源達20%總電能之目標。然以2023年為例，根據經濟部能源署能源統計月報資料顯示，目前太陽光電佔我國總能源之4.58%、其次為離岸風機等風電2.2%、慣常水力1.4%、固體再生燃料(廢棄物焚化爐)1.2%、生質能0.08%、地熱0.01%，上述再生能源之總佔比僅為9.47%，顯示我國目前再生能源之現況與政策目標仍有差距，但也同時凸顯此類再生能源產業仍有極大之發展空間。

三、再生能源與生質能發展現況

我國再生能源目前佔比最大為太陽光電與離岸風機等風電，因其具備工業化標準產品生產線且可大量製造與架設，但此類能源極易受到季節與外在氣候環境影響，其中太陽光電除產能上受地球自轉週期與地區氣候影響，在我國好發之雨季，如梅雨期、夏日颱風期或冬日東北季風期間，降雨地區幾乎無法穩定產生太陽能源。此外太陽能產業之發展，需要大量土地，因此可能會與我國農業、養殖漁業競爭使用空間，雖然目前已有部分農產業，如菇類、香草蘭產業已有與光電結合之案例，但多數人還是認為光電結合農業可能間接減少作物產量；此外，離岸風機於運作時，會產低頻噪音，進而影響周圍住戶生活品質，且在離岸架設風機時，也會對海岸原生態之生物相造成改變。此外，季節差異對風電之影響比光電更為嚴重，根據臺灣電力公司的再生能源發電概況統計顯示，我國超過七成的風電產能集中在每年的10月至隔年3月間，然而每年春夏季(3月至10月)才是我國用電高峰期，但此時期風電產能僅佔整年度風能之3成，倘若此期間需由再生能源供給電能，則僅能仰賴易受雨季干擾之光電供給，對維繫我國供電穩定之能源備載容量率影響極大，而再生能源除太陽能源和風力外，也包含生質能，其不但具備不受氣候與季節影響之特點，更可減少

對化石燃料之使用，極具潛力成為提升我國能源備載容量率之堅定基石。

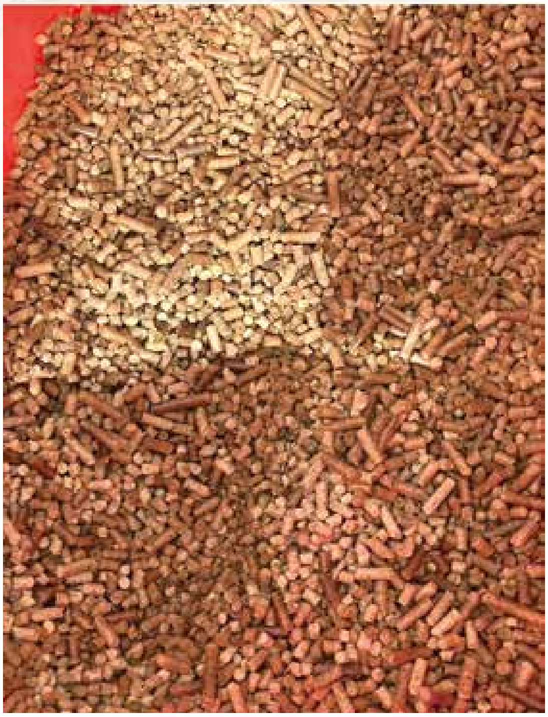
四、什麼是生質能

生質能通稱於將有機物經過轉化、加工或直接利用後來產生能源的模式，因其產能之主要成分為有機物，故實際應用上包含動植物資源物、藻類與都市生活廢棄物等，並可依據其狀態區分為固態(如：木質顆粒之固態生質燃料)、液態(如：蔗糖發酵之生物柴油)、氣態(如：豬糞尿產生之沼氣)等三種，此三類生質能中，固態生質能具有較少加工步驟，且具便於保存與儲運之特點，故目前全球約有84%之生質能皆來自固態生質能(張與羅，2021)。另外因全球各地之有機物樣態繁多，加上各地生產之有機物相異，故目前可從原物料成分將固態生質能分為六大類，分別為農業資源物、畜牧資源物、林業資源物、木材資源物、工業資源物與都市生活固體廢棄物等(王，2023)。在這些固態生質能中，農業資源物泛指農事操作過程中所產生具可分解性之有機物或不可分解之資材，前者如水稻採收後產生之稻稈，後者如農地所用之農地披覆塑膠布，或溫網室之塑膠棚布等。此類有機物之產生會依據作物生產季節與各地主要作物種類而有所差異，導致後續製造生質燃料出現季節性缺料之問題，嚴重影響產品生產線之穩定，而菇類栽培後資源物，特別是來自週年穩定生產之金針菇或杏鮑菇等菇種，則可配合每日菇體採收，穩定供應生質燃料原料(圖一)，避免生質燃料產線出現缺料之問題，因此運用此類菇類資源物原料作為固態生質能為一大利基。

五、菇類資源物作為固態生質燃料之潛力

菇類產業為我國蔬菜作物之重要支柱，根據統計菇類產業年產值已經超過100億新台幣，並佔我國整體蔬菜作物產值之18%(劉等，2016)。其中因我國菇類產業持續發展，在產值提升的同時，每年也會產生相應之菇類栽培後資源物，據估算，國內每年以5億包太空包的生產狀況，至少會產生50萬公噸之菇類栽培後資源物(呂與余，2021)。這些資源物中，成分多為富含纖維素、木質素之木屑或玉米芯，雖經過菇類菌絲利用後，

圖一、金針菇之菇類栽培後資源物。



圖二、以龍眼木生產之木顆粒生質燃料。

圖三、本所與虎尾科技大學合作，以杏鮑菇資源物製造之固態生質燃料顆粒。

仍餘下約6-7成之成分，尚未分解利用(劉等，2000)，其中木質素在高溫擠壓下具黏合效果，因此可作為天然的造粒黏著劑，當經過粉碎、乾燥、擠壓成型、集塵、冷卻、保存分裝等步驟後，即可將菇類栽培後資源物作為固態生質燃料顆粒使用。菇類生質燃料之研究在國外已有多篇相關報導，其中香菇栽培後資源物經熱裂解 (Pyrolysis)處理後可製造熱值達19.5 MJ/ kg (約4657 kcal/kg)之固態生質燃料，或是洋菇堆肥介質經水熱碳化(Hydrothermal carbonization) 處理後，單位熱值也可達14.9 MJ/ kg(約3558 kcal/kg)(Leong, et al.,2022)，在中國大陸亦有針對香菇栽培後資源物進行乾燥，直接燃燒後轉換為用於太空包消毒或庫間保溫之能量來源 (米等，2005)，或專門做為鍋爐燃燒材料使用；李氏（2009）之的研究指出1500個香菇廢菌棒產生的熱能，產生之蒸氣熱量，可供3100個香菇菌棒滅菌之用。此外菇類固態生質燃料，比起甲醛殘留風險更高之木顆粒燃料(圖二)或含有高氯比例之廢棄物燃料顆粒，在成份上更為單純，因此對於後端燃燒發電鍋爐之影響也較低，具應用優勢。本所過去與虎尾科技大學合作，利用週年生產之金針菇與杏鮑菇栽培後資源物進行造粒測試(圖三)，評估其生質燃料造粒性與內部熱值。結果顯示以木屑為主之杏鮑菇栽培後資源物或以玉米芯為主之金針菇栽培後資源物，在熱值表現上約為3500-4000 kcal/kg，接近石化燃料中煤球之熱值3800 kcal/kg。此類菇類生

質燃料不僅能協助去化過剩之栽培後資源物，於使用上比起不可再生之煤球更具永續性，顯見我國菇類栽培後資源物具有作為固態生質燃料之應用潛力。而菇類生質燃料之使用，除了可用於發電之專爐專燒模式外，還可作為蒸氣之來源，應用於工業各項生產環節中，也可比照瑞典、日本、韓國等模式，在發電過程中取代部分化石燃料進行發電(黃與羅，2023)，達成同時兼顧燃燒效率與減少二氧化碳排放之雙贏目標。

六、展望

我國為能源高度仰賴進口之海島型國家，無論是為維繫全球市場之產品競爭力，或是確保我國之能源安全，皆有推廣可持續發展的再生能源之必要性，其中生質能又因其可穩定發電之特性而可做為提升我國能源備載率之基石。菇類固態生質燃料雖然目前仍在發展階段，相應之產業鏈也尚未成形，但從產業面或研究中之實際燃燒熱值來看，皆有其未來發展性。目前國內應用固態生質燃料仍需產官學三方共同合作，尋求可行之產業營運模式，藉由凝聚社會共識，使我國之生質能於再生能源中發揮更關鍵的角色，成為我國綠能的未來新方向。

七、參考文獻

王滄榮。2023。從國際生質能料源運用類別研析我國推動方向及課題。臺灣經濟研究月刊；22-30。

米青山、王尚堃、宋建華。2005。食用菌廢料的綜合利用研究。中國農學通報；21:287。

李嬌。2009。淺析迴圈利用食用菌廢菌棒項目的效益及技術操作。安徽農學通報；15:219。

呂昀陞、余祥萱。2021。菇類栽培後介質再利用之模式與菇類菌絲體成型技術開發之展望。國際農業科學新知；20-26。

張仲豪、羅時芳。2021。固態生質燃料產業趨勢分析及展望。經濟前瞻；93-96。

黃品翔，羅時芳。2023。日韓固體再生燃料發展趨勢及對我國推動發展之啟示。經濟前瞻；81-86。

劉曉牧、王中華、李福昌、高秀華。2000。菌糠的營養價值及應用。中國飼料；18:29-30。

劉育姍、康瑋帆、呂昀陞、石信德。2016。我國菇類產業現況與技術發展策略分析。農政與農情；285:64-69。

Leong, Y. K., Ma, T. W., Chang, J. S., & Yang, F. C. 2022. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. Bioresource technology, 344, 126-157.